

Universidade de Lisboa  
Faculdade de Medicina Dentária



**Influência da distância e intensidade da radiação luminosa na  
capacidade de fotopolimerização de um compósito**

**Letícia Andreia Ferreira Delgado**

Dissertação  
Mestrado Integrado em Medicina Dentária

2014



Universidade de Lisboa  
Faculdade de Medicina Dentária



**Influência da distância e intensidade da radiação luminosa na  
capacidade de fotopolimerização de um compósito**

**Dissertação orientada pelo Prof. Doutor Jaime Pereira Fontes de Almeida Portugal**

**Letícia Andreia Ferreira Delgado**

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

2014



Ao Marco

Aos meus Pais e ao meu Irmão

Aos meus Avós Maternos



## **Índice**

AGRADECIMENTOS .....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT .....	iv
PALAVRAS-CHAVE .....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/UNIDADES.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Fotopolimerização dos compósitos .....	1
1.2 Avaliação da capacidade de fotopolimerização.....	2
1.3 Influência da distância à fonte luminosa na capacidade de fotopolimerização .....	4
1.4 Influência do compósito na capacidade de polimerização .....	4
2. OBJETIVOS .....	6
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	7
3.1 Preparação dos Espécimes .....	7
3.2 Testes de Microdureza.....	12
3.3 Análise Estatística.....	14
4. RESULTADOS .....	15
5. DISCUSSÃO .....	19
6. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26





## **Agradecimentos**

“Deus quer, o homem sonha, a obra nasce”

Tendo por base este verso de Fernando Pessoa, não podia deixar de expressar aqui, o meu mais sincero agradecimento ao Professor Doutor Jaime Pereira Fontes de Almeida Portugal, mentor desta dissertação, pelo seu empenho, rigor científico, elevado saber que sempre me transmitiu e ajuda sempre disponibilizada. Por tudo isto o meu mais sincero e profundo obrigada.

À Professora Doutora Sofia de Oliveira, Professora Doutora Manuela Lopes e Dra. Filipa Chasqueira um agradecimento especial pela forma carinhosa e sempre disponível com que me receberam no laboratório de Biomateriais.

À Higienista Oral Fátima Duarte pelas palavras carinhosas de apoio e de incentivo que sempre me transmitiu.

À colega Bianca Rosca agradeço a ajuda e disponibilidade demonstrada na execução de todo o trabalho laboratorial.

Às colegas e grandes amigas Sara Rodrigues e Nádía Oliveira pelo seu apoio, ajuda e carinho que sempre me demonstraram ao longo destes cinco anos.

À Edna Cascalheira, Joana Taborda e Rita Monteiro o meu mais profundo agradecimento pela amizade e carinho com que sempre pude contar.

À Assistente Dentária Margarida por me ter ajudado sempre que precisei. Pelas suas palavras e demonstrações de afeto, o meu mais sincero obrigada.

Por último, mas não menos importante, uma palavra muito especial à minha família. Aos meus pais pelo que sempre me permitiram apesar das dificuldades enfrentadas. Ao meu irmão por me fazer sorrir. Aos meus avós maternos pilares da minha vida. Ao Marco pelo amor, incentivo e força que sempre depositou em mim.

## **Resumo**

**Objetivo:** O presente estudo laboratorial foi realizado com o objetivo de avaliar a influência da distância da fonte de radiação luminosa e do tipo de fotopolimerizador na microdureza de diversas resinas compostas e ainda avaliar a capacidade de polimerização de diversas resinas aplicando radiação luminosa emitida por diferentes fotopolimerizadores a diferentes distâncias.

**Materiais e métodos:** Foram fabricados 180 discos de compósito com 2 mm de espessura e 5 mm de diâmetro. Foi avaliada a eficácia de três fotopolimerizadores LED, com diferentes intensidades ( $800 \text{ mW/cm}^2$ ;  $1.100\text{-}1.300 \text{ mW/cm}^2$ ;  $2.000 \text{ mW/cm}^2$ ) a diferentes distâncias (0 mm, 2 mm, 4mm e 6mm) na capacidade de fotopolimerização de três compósitos nanohíbridos: Herculite Ultra (Kerr), Filtek Supreme XTE (3M ESPE) e GrandioSO (VOCO). Foram efetuados testes de microdureza Knoop no topo e na base de cada espécime. Seguidamente calculou-se o *ratio* de microdureza, considerando-se que valores iguais ou superiores a 0,80 correspondiam à correta polimerização na profundidade de 2 mm de compósito. Os dados de microdureza do topo foram analisados com testes não paramétricos, segundo o método de Kruskal-Wallis, seguido de testes Mann-Whitney com correção de Bonferroni. Testes T-Student foram utilizados para avaliar o *ratio* de microdureza ( $\alpha=0,05$ ).

**Resultados:** O tipo de resina e a intensidade de radiação influenciam de forma estatisticamente significativa ( $p<0,05$ ) os valores de microdureza no topo dos espécimes. Avaliando a influência da distância observou-se não existirem diferenças estatisticamente significativas ( $p>0,05$ ). Uma correta polimerização na profundidade foi conseguida no grupo da resina GrandioSO para todas as intensidades e distâncias. No grupo das resinas Filtek Supreme XTE e Herculite Ultra o mesmo não foi conseguido.

**Conclusão:** A microdureza das resinas não é influenciada pela distância da fonte de radiação luminosa, sendo no entanto influenciada pelo tipo de resina e intensidade luminosa. Relativamente à capacidade de polimerização conclui-se ser influenciada pela distância do fotopolimerizador, tipo de resina e intensidade de radiação.

## **Abstract**

**Objective:** The aim of this laboratory study was to evaluate the influence of distance from the source of light irradiation and the type of curing on the microhardness of various resin composites and also assess the ability of polymerization of various resins applying radiation emitted by different light curing units at different distances.

**Materials and methods:** One hundred eight resin composite disks with 2 mm thick and 5 mm in diameter were prepared. The effectiveness of three LED curing light was evaluated with different intensities (800 mW/cm<sup>2</sup>; 1.100-1.300 mW/cm<sup>2</sup>; 2.000 mW/cm<sup>2</sup>) at different distances (0 mm, 2 mm, 4 mm e 6 mm) on the ability of photopolymerization of three monohybrid composites: Herculite Ultra (Kerr), Filtek Supreme XTE (3M ESPE) e GandioSO (VOCO). Knoop microhardness tests were performed on the top and bottom of each specimen. Then microhardness ratio was calculated, a minimum of 0,80 was considered as a correct of depth in the polymerization of 2 mm of composite. The top of the microhardness data were analysed with nonparametric tests, according to the method of Kruskal-Wallis followed by Mann-Whitney tests with Bonferroni correction. Student t-tests were used to evaluate the microhardness ratio ( $\alpha=0,05$ ).

**Results:** The type of resin and the intensity of radiation influence statistically significantly ( $p<0,05$ ) microhardness values on the top of the specimens. Evaluating the influence of the distance was observed no statistically significant differences ( $p> 0.05$ ). A correct polymerization in depth was achieved in the GranioSO resin group for all intensities and distances. In the group of resins Filtek Supreme XTE and Herculite Ultra the same was not achieved.

**Conclusion:** The microhardness of the resins is not influenced by the distance from the source of light radiation, but is influenced by the type of resin and light intensity. Concerning the capacity of polymerization is concluded to be influenced by the distance of curing, resin type and intensity of radiation

## **Palavras-chave**

Fotopolimerizador

Distância

Potência

Profundidade de polimerização

Microdureza

Resina composta

## **Keywords**

Curing light

Distance

Output

Depth of cure

Microhardness

Composite resin

## **Lista de Tabelas**

**Tabela 1** Resinas compostas utilizadas no estudo. .... 7

**Tabela 2:** Características do Fotopolimerizadores utilizados no estudo de acordo com o respectivo fabricante..... 10

**Tabela 3:** Distribuição dos grupos experimentais de acordo com a intensidade de radiação luminosa, tipo de resina e a distância da fonte à superfície da resina composta..... 11

**Tabela 4:** Estatística descritiva dos valores médios de microdureza Knoop no topo e *ratio* de microdureza, para cada grupo experimental (n=5).

\* Valores de *ratio* de microdureza estatisticamente ( $p < 0,05$ ) inferiores a 0,80 e portanto considerados insuficientes para uma polimerização clinicamente aceitável. .... 15

## **Lista de Figuras**

<b>Figura 1:</b> Resinas compostas utilizadas no estudo .....	7
<b>Figura 2:</b> Sequência de preparação dos espécimes. A- Dente incisivo central superior incluído num bloco de acrílico e matriz de metal; B- Matriz de metal sobre o dente; C- Condensação da resina composta; D- Matriz de acetato aplicada sobre a resina e placa de vidro para tornar a superfície plana .....	8
<b>Figura 3:</b> Aparelho fotopolimerizador Ortholux LED Curing Light.....	9
<b>Figura 4:</b> Aparelho fotopolimerizador Demi Ultra.....	9
<b>Figura 5:</b> Aparelho fotopolimerizador Bluephase 20i .....	9
<b>Figura 6</b> Radiômetros Bluephase® meter. ....	10
<b>Figura 7:</b> Espaçadores utilizados. ....	12
<b>Figura 8:</b> Microdurómetro Duramin 5 .....	13
<b>Figura 9:</b> Indentação em forma de losango deixada na superfície da resina composta..... .....	13
<b>Figura 10:</b> Influência do tipo de resina composta na microdureza Knoop no topo dos espécimes. Barras com letras iguais não são estatisticamente diferentes.....	16
<b>Figura 11:</b> Influência da intensidade de radiação luminosa na microdureza Knoop no topo dos espécimes. Barras com letras iguais não são estatisticamente diferentes. ....	17
<b>Figura 12:</b> Influência da distância à fonte luminosa na microdureza Knoop no topo dos espécimes. Barras com letras iguais não são estatisticamente diferentes .....	17

## **Abreviaturas**

QTH – quartzo-tungstênio-halogéneo

LED – díodos emissores de luz (*light-emitting diode*)

FTIR – espectroscopia por infravermelhos (*fourier transform infrared spectroscopy*)

## **Símbolos**

% – percentagem

$p$  – significância estatística

$n$  – tamanho da amostra

## **Unidades**

nm – unidade de comprimento (nanómetro)

mm – unidade de comprimento (milímetro)

$\mu\text{m}$  – unidade de comprimento (micrómetro)

KH – unidade de microdureza Knoop

s – unidade de tempo (segundos)

$\text{mW}/\text{cm}^2$  – unidade de intensidade de radiação (microwatt por centímetro quadrado)

$\text{J}/\text{cm}^2$  – unidade de intensidade de radiação (Joule por centímetro quadrado)

$\text{mN}$  – unidade de Força (miliNewton)





## 1. Introdução

### 1.1 Fotopolimerização dos compósitos

A adequada polimerização das resinas compostas é essencial para a obtenção de características físicas, mecânicas e biológicas ideais, determinantes para um bom desempenho clínico e longevidade da restauração (Rueggeberg & Caughman, 1994; Aguiar *et al.*, 2005; Nomoto *et al.*, 2006; Schneider *et al.*, 2006; Hubbezoğlu *et al.*, 2007; Moore *et al.*, 2008; Palin *et al.*, 2008; Aguiar *et al.*, 2009; Nagas *et al.*, 2010; Ergun *et al.*, 2011).

A reação de polimerização inicia-se quando um iniciador, presente na resina composta, é ativado (Anusavice & Brantley, 2003; Price *et al.*, 2004). Para tal, é necessário que um determinado número de fótons seja absorvido pelo iniciador, o que está diretamente relacionado com o comprimento de onda, intensidade e tempo de exposição da fonte de radiação (Anusavice & Brantley, 2003; Emami *et al.*, 2003). A exposição à luz produz um estado de excitação do iniciador, o qual interage com uma molécula de amina, conduzindo à formação de radicais livres, que desencadeiam o processo de fotopolimerização (Rueggeberg FA & Caughman WF, 1994; Anusavice & Brantley, 2003; Schneider *et al.*, 2006; Rueggeberg *et al.*, 2009). Este processo de polimerização consiste na união química, sucessiva e em cadeia de diversas moléculas de monómero. Estas moléculas de monómero são moléculas insaturadas que apresentam ligações duplas entre átomos de carbono. É a quebra destas ligações duplas que torna possível o estabelecimento de ligações covalentes entre as moléculas de monómero, originando cadeias de polímeros de elevado peso molecular (Anusavice & Brantley, 2003; Portugal, 2008).

Apesar do processo de conversão de monómero em polímero nunca ser total, durante o processo de fotopolimerização dos compósitos a taxa de conversão máxima varia entre 65 a 80%, desta forma tem sido referida a necessidade de fornecer uma quantidade de energia de radiação de aproximadamente  $16 \text{ J/cm}^2$  para garantir uma correta fotopolimerização de blocos de resina composta com espessura de 2 mm (Anusavice & Brantley, 2003). Esta densidade de energia pode ser calculada

multiplicando a intensidade ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) da radiação luminosa pelo tempo de exposição, em segundos (Price *et al.*, 2004; Asmussen & Peutzfeldt, 2005; Rueggeberg *et al.*, 2009). Uma vez que estes dois parâmetros são considerados inversamente proporcionais, através do aumento da intensidade da radiação luminosa poderá ser possível diminuir o tempo de exposição, mantendo a quantidade de energia fornecida (Anusavice & Brantley, 2003; Portugal, 2008). Com esse intuito, têm surgido no mercado diversos fotopolimerizadores com uma potência cada vez maior, baseados em diversas tecnologias: lâmpadas de quartzo-tungstênio-halogéneo (QTH); aparelhos de laser de árgon; lâmpadas de arco de plasma e fotopolimerizadores de díodos emissores de luz (LED) (Aravamudhan *et al.*, 2006; Rueggeberg *et al.*, 2009; Cekic-Nagas *et al.*, 2010; Ergun *et al.*, 2011). A gama de comprimento de onda e a intensidade da luz produzida pelos vários tipos de unidades podem, no entanto, variar substancialmente (Anusavice & Brantley, 2003).

No entanto, se a resina composta não receber um número adequado de fótons, na gama do comprimento de onda devido, o grau e a extensão da reação de polimerização será inadequado, ou seja, o grau de conversão será reduzido (Price *et al.*, 2004; Aguiar *et al.*, 2005; Aguiar *et al.*, 2009). Associado ao reduzido grau de conversão vários problemas podem surgir: redução da dureza, aumento do desgaste, diminuição da resistência mecânica, aumento da citotoxicidade, aumento da pigmentação e aumento da degradação marginal (Price *et al.*, 2004; Aguiar *et al.*, 2005; Hasler *et al.*, 2006; Aguiar *et al.*, 2009; Camargo *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2009; Ergun *et al.*, 2011).

## **1.2 Avaliação da capacidade de fotopolimerização**

Para se avaliar a eficácia de polimerização de um bloco de resina composta podem ser utilizados métodos diretos e métodos indiretos. Os métodos diretos, que incluem espectroscopia por infravermelhos (FTIR) e espectroscopia de Raman, permitem medir o grau de conversão das ligações químicas, ou seja, a percentagem de ligações duplas entre átomos de carbono que foram quebradas durante a reação de polimerização. No entanto, estas técnicas são demoradas, complexas e dispendiosas (Emami *et al.*, 2003; Lindberg *et al.*, 2005; de Jong *et al.*, 2007; Rode *et al.*, 2007;

Moore *et al.*, 2008; Borges *et al.*, 2009; Camargo *et al.*, 2009; Ceballos *et al.*, 2009; Mobarak *et al.*, 2009).

Por este motivo, os métodos indiretos têm sido eleitos por diversos autores para determinar a eficácia de polimerização em bloco das resinas compostas (De Wald & Ferracane, 1987; Hubbezoglu *et al.*, 2007; Portugal, 2008). A remoção manual por raspagem do material não polimerizado (*scrapping*), a inspeção visual com auxílio de microscópio, a avaliação da microdureza e do *ratio* de microdureza são alguns destes métodos (De Wald & Ferracane, 1987; Moore *et al.*, 2008; Ceballos *et al.*, 2009; Mobarak *et al.*, 2009). Apesar de o método de raspagem ser o recomendado pela ISO (ISO 4049, 2000), a determinação do *ratio* de microdureza tem sido o método mais empregue para determinar a eficácia da polimerização das resinas compostas (Moore *et al.*, 2008). Trata-se de um método simples e correlacionável com o grau de conversão (De Wald & Ferracane, 1987; Hubbezoglu *et al.*, 2007). Segundo este método, o procedimento consiste em, primeiramente, se fotopolimerizar um bloco de resina composta, com uma radiação luminosa capaz de ativar a reação de polimerização (Portugal, 2008). Seguidamente é determinada a dureza na superfície mais próxima (topo), onde se pressupõe ter obtido um grau de conversão máximo da resina, e mais afastada (base) da fonte de luz (Borges *et al.*, 2009). Após isto, é efectuado o cálculo do *ratio* de microdureza, dividindo o valor de microdureza obtido na superfície mais afastada da fonte de luz pelo valor de microdureza obtido na superfície mais próxima da luz. O resultado deste *ratio* permite avaliar a polimerização na base do bloco (Choi *et al.*, 2000; Moore *et al.*, 2008). É considerada uma polimerização clinicamente aceitável, quando um *ratio* igual ou superior a 0,80 é obtido, ou seja, tem sido estabelecido que a dureza da base deverá representar pelo menos 80% da dureza do topo do bloco, para que uma polimerização adequada seja conseguida (Bouschlicher *et al.*, 2004; Roberts *et al.*, 2004; Moore *et al.*, 2008; Borges *et al.*, 2009).

### **1.3 Influência da distância à fonte luminosa na capacidade de fotopolimerização**

Uma polimerização adequada da resina composta, para além de estar dependente da intensidade e do tempo de exposição à fonte de luz, depende também da distância desta à superfície da restauração (Corciolani *et al.*, 2008; Cekic-Nagas *et al.*, 2010). Quando a distância da fonte de luz à resina é superior a 2 mm, a dispersão da luz proveniente do fotopolimerizador aumenta, o que diminui a quantidade de luz que é recebida pelas camadas inferiores da resina (Aguiar *et al.*, 2005; Aravamudhan *et al.*, 2006). Por ser sabido que a intensidade da luz diminui com o quadrado da distância (Bennett & Watts, 2004; Rode *et al.*, 2007; Thomé *et al.*, 2007; Ergun *et al.*, 2011), é recomendado que a ponta do fotopolimerizador esteja na proximidade íntima da superfície da restauração (Thomé *et al.*, 2007; Cekic-Nagas *et al.*, 2010; Ergun *et al.*, 2011). No entanto, tal nem sempre é possível, uma vez que a distância entre a fonte de luz e a resina composta depende do tamanho e da posição da cavidade (Aguiar *et al.*, 2005; Cekic-Nagas *et al.*, 2010). Tal facto pode ser clinicamente relevante por poder resultar numa deficiente polimerização dos incrementos mais afastados da fonte luminosa em cavidades mais profundas. (Aguiar *et al.*, 2005).

O tempo de polimerização recomendado pelos fabricantes é baseado no pressuposto que a extremidade do fotopolimerizador é colocada em contacto com superfície da resina, o que nem sempre é possível, como referido anteriormente. Desta forma, o tempo de polimerização recomendado pelo fabricante pode subestimar o tempo que clinicamente é necessário para se conseguir uma adequada polimerização da base do incremento da resina composta (Price *et al.*, 2011).

### **1.4 Influência do compósito na capacidade de polimerização**

Por outro lado, características intrínsecas do compósito, como cor e opacidade, composição química da matriz, concentração e tipo de iniciador, tamanho, forma e percentagem de partículas de carga podem influenciar a transmissão de radiação luminosa através da massa do compósito e desta forma influenciar a energia recebida e

o grau de polimerização do compósito situado na superfície da restauração mais distante da fonte luminosa. (Pilo *et al.*, 1999; Poskus *et al.*, 2004; Price *et al.*, 2004; Aguiar *et al.*, 2005; de Jong *et al.*, 2007; Hubbezoglu *et al.*, 2007; Sigusch *et al.*, 2007; Ergun *et al.*, 2011).

No entanto, não foram encontrados na literatura, estudos que avaliem a influência da distância da luz ao compósito e de fotopolimerizadores com elevada potência na capacidade de polimerização de resinas compostas nanohíbridas.

## 2. Objetivos

1. Avaliar a influência da distância da fonte de radiação luminosa e do tipo de fotopolimerizador na microdureza de diversas resinas compostas, de acordo com as seguintes hipóteses:

H<sub>0</sub>: A microdureza das resinas compostas não é influenciada pela distância da fonte de radiação luminosa.

H<sub>1</sub>: A microdureza das resinas compostas é influenciada pela distância da fonte de radiação luminosa.

H<sub>0</sub>: A microdureza das resinas compostas não é influenciada pela intensidade da radiação luminosa.

H<sub>1</sub>: A microdureza das resinas compostas é influenciada pela intensidade da radiação luminosa.

H<sub>0</sub>: A microdureza não é influenciada pelo tipo de resina composta.

H<sub>1</sub>: A microdureza é influenciada pelo tipo de resina composta.

2. Avaliar a capacidade de polimerização de diversas resinas compostas aplicando a radiação luminosa emitida por diferentes fotopolimerizadores a diferentes distâncias.

H<sub>0</sub>: O *ratio* de microdureza não é inferior a 0,80.

H<sub>1</sub>: O *ratio* de microdureza é inferior a 0,80.

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1 Preparação dos espécimes

Foram fabricados um total de 180 discos de dimensões padronizadas (5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) utilizando três resinas compostas fotopolimerizáveis nanohíbridas, de cor A<sub>2</sub> (figura 1): Herculite XRV Ultra *enamel* (Kerr, Scafati, Itália; Lote n.º 5034543), Filtek Supreme XTE, *body* (3M ESPE Dental Products, St. Paul, USA; Lote n.º N529790) e GrandioSO, *body* (VOCO GmbH, Cuxhaven, Alemanha; Lote n.º 1404059). As características destas resinas compostas são referidas na tabela 1.

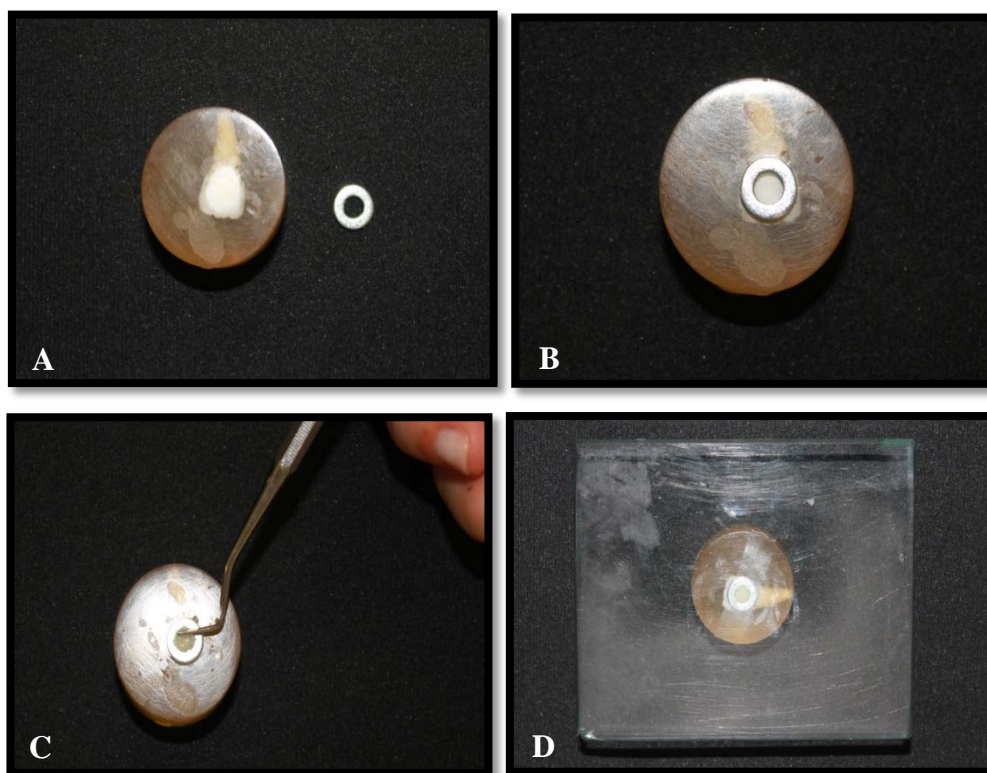


**Figura 1:** Resinas compostas utilizadas no estudo.

	<b>Herculite Ultra</b>	<b>Filtek Supreme XTE</b>	<b>GrandioSO</b>
<b>Matriz</b>	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, PEGDMA, Bis-EMA	Bis-GMA, TEGDMA, BHT, UDMA.
<b>Partículas de carga</b>	Partículas pré-polimerizadas, vidro de bário	Sílica, zircônio, agregados sílica/zircônio	Cerâmica vítrea e sílica
<b>Tamanho médio das partículas de carga (µm)</b>	0,4	0,6 - 10	1
<b>% carga (vol.)</b>	55,7	63,3	73
<b>N.º lote</b>	5034543	N529790	1404059
<b>Validade</b>	11-2016	08-2016	07-2016

**Tabela 1:** Resinas compostas utilizadas no estudo.

Sobre a superfície vestibular de um incisivo central superior humano, que serviu como fundo refletor, foi colocada uma tira de acetado com 0,05 mm de espessura (Keerr; Bioggio; Suíça; 686) e sobre ela foi colocada uma matriz de metal em forma de anilha. Após o preenchimento da matriz com resina composta, foi sobre ela aplicada uma nova tira de acetado. Os excessos de resina composta foram removidos e a superfície dos espécimes foi tornada plana aplicando pressão digital com uma placa de vidro. Antes da fotopolimerização de cada espécime, a placa de vidro foi removida (figura 6).



**Figura 2:** Sequência de preparação dos espécimes. A- Dente incisivo central superior incluído num bloco de acrílico e matriz de metal; B- Matriz de metal sobre o dente; C- Condensação da resina composta; D- Matriz de acetato aplicada sobre a resina e placa de vidro para tornar a superfície plana.

O fotopolimerizador utilizado serviu para a subdivisão dos espécimes. Foram utilizados três aparelhos fotopolimerizadores de díodos de emissores de luz (LED) capazes de produzir radiação luminosa com intensidade distinta: Ortholux LED Curing Light (3M Unitek, Puchheim, Alemanha, 800 mW/cm<sup>2</sup>), Demi ultra \_ LED



Ultracapacitor Curing Light System (Kerr, Orange, USA,  $1.100 \text{ mW/cm}^2$  com picos de  $1.300 \text{ mW/cm}^2$ ) e Bluephase 20i (Ivoclar Vivadent, Schann, Liechtenstein,  $2.000 \text{ mW/cm}^2$ ). As características dos fotopolimerizadores utilizados estão referidas na tabela 2.

**Figura 3:** Aparelho fotopolimerizador Ortholux LED Curing Light.



**Figura 4:** Aparelho fotopolimerizador Demi Ultra.



**Figura 5:** Aparelho fotopolimerizador Bluephase 20i.

	<b>Demi Ultra</b>	<b>Ortholux LED</b>	<b>Bluephase 20i</b>
<b>Fabricante</b>	Kerr	3M Unitek	Ivoclar Vivadent
<b>Tipo</b>	LED	LED	LED
<b>Intensidade (mW/cm<sup>2</sup>)</b>	1.100- 1.300	800	2.000
<b><i>λ da radiação emitida(nm)</i></b>	450-470	430-480	315-515

**Tabela 2:** Características do Fotopolimerizadores utilizados no estudo de acordo com o respetivo fabricante.

Imediatamente antes do fabrico dos cinco espécimes que constituíam cada grupo experimental, a intensidade da radiação emitida foi confirmada com um radiómetro (Bluephase® meter, N.º de série: 001390, Ivoclar Vivadent, Schann, Liechtenstein) (figura 6).

**Figura 6:** Radiómetros Bluephase® meter.

A distância a que foi aplicada a fonte luminosa serviu de base para a divisão de cada um dos subgrupos de espécimes nos 36 grupos experimentais testados, que refletiam as diversas combinações possíveis entre o compósito, o fotopolimerizador e a distância à fonte luminosa (n=5) (tabela 3).

Resina Composta	Fotopolimerizadores	Distância (mm)
Herculite Ultra	Ortholux LED	0
		2
		4
		6
	Demi Ultra	0
		2
		4
		6
	Bluephase 20i	0
		2
		4
		6
Filtek Supreme XTE	Ortholux LED	0
		2
		4
		6
	Demi Ultra	0
		2
		4
		6
	Bluephase 20i	0
		2
		4
		6
GrandioSO	Ortholux LED	0
		2
		4
		6
	Demi Ultra	0
		2
		4
		6
	Bluephase 20i	0
		2
		4
		6

**Tabela 3:** Distribuição dos grupos experimentais de acordo com a intensidade de radiação luminosa, tipo de resina e a distância da fonte à superfície da resina composta (n=5).

A distância da fonte luminosa à superfície do disco de compósito variou entre 0 mm, 2 mm, 4 mm e 6 mm. Desta forma, a ponta do fotopolimerizador foi colocada diretamente sobre a tira de acetado e/ou espaçadores (figura 7), formando um ângulo de 90° relativamente à superfície do espécime. As resinas compostas Herculite Ultra e GrandioSO foram polimerizadas durante 10 segundos e a resina Filtek Supreme XTE durante 20 segundos. Em cada espécime foram identificadas duas superfícies distintas: topo (a mais próxima da fonte de radiação luminosa) e base (a mais afastada da fonte de radiação luminosa).



**Figura 7:** Espaçadores utilizados.

Imediatamente após o seu fabrico, os espécimes foram armazenados no escuro, em meio seco e à temperatura ambiente, durante 1 hora

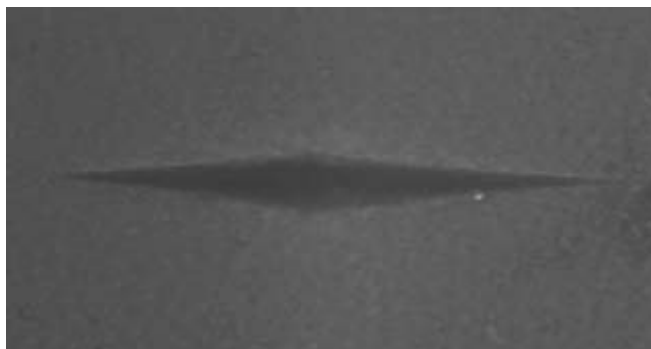
### **3.2 Testes de microdureza**

Ao fim deste período de armazenamento, foram realizados testes de microdureza Knoop, utilizando um microdurómetro (Duramin 5, n.º série 5655187, Struers AVS, Ballerup, Dinamarca) (figura 8), com um tempo de indentação de 10 segundos e uma carga de 245,3 *mN*.

Em cada espécime, foram realizadas três indentações por superfície, topo e base, com uma distância de 1mm entre elas (figura 9).



**Figura 8:** Microdurômetro Duramin 5.



**Figura 9:** Indentação em forma de losango deixada na superfície da resina composta.

A média das três indentações serviu como valor de microdureza Knoop (KH) de cada superfície.

Para cada espécime, foi calculado o *ratio* de microdureza utilizando a fórmula:  $\text{Ratio de microdureza} = \text{KH da base (valor médio de cada espécime)} / \text{KH do topo (valor médio dos espécimes fabricados com o compósito em questão e fotopolimerizados com o Bluephase 20i a uma distância de 0 mm)}$ . Valores inferiores a 0,8 foram considerados como indicando inadequada polimerização da resina à profundidade de 2 mm.

### 3.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram inseridos numa base de dados e analisados estatisticamente com uma aplicação informática comercial – SPSS for Windows®, versão 21.

Foi realizada a análise estatística descritiva dos valores de microdureza Knoop do topo de cada espécime. Para cada grupo experimental foi calculada a média e desvio padrão.

Uma vez que, com o teste de Kolmogorov-Smirnov, não se verificou a normalidade da distribuição da amostra ( $p < 0,001$ ), foram utilizados testes não paramétricos para a análise estatística inferencial dos dados de microdureza Knoop obtidos na superfície do topo dos espécimes. Foram utilizados os testes segundo o método de Kruskal-Wallis, seguido de comparações múltiplas segundo o método de Mann-Whitney com correção de Bonferroni. Como variáveis independentes foram utilizadas a distância da fonte luminosa, o tipo de compósito e a intensidade da radiação luminosa.

Relativamente ao *ratio* de microdureza, tendo-se verificado a distribuição normal da amostra com o teste de Kolmogorov-Smirnov ( $p \geq 0,05$ ) foram utilizados testes T-Student para verificar se os valores médios obtidos em cada grupo experimental eram estatisticamente inferiores ao valor de 0,80 utilizado como referência.

Foi fixado o nível de significância estatística em 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

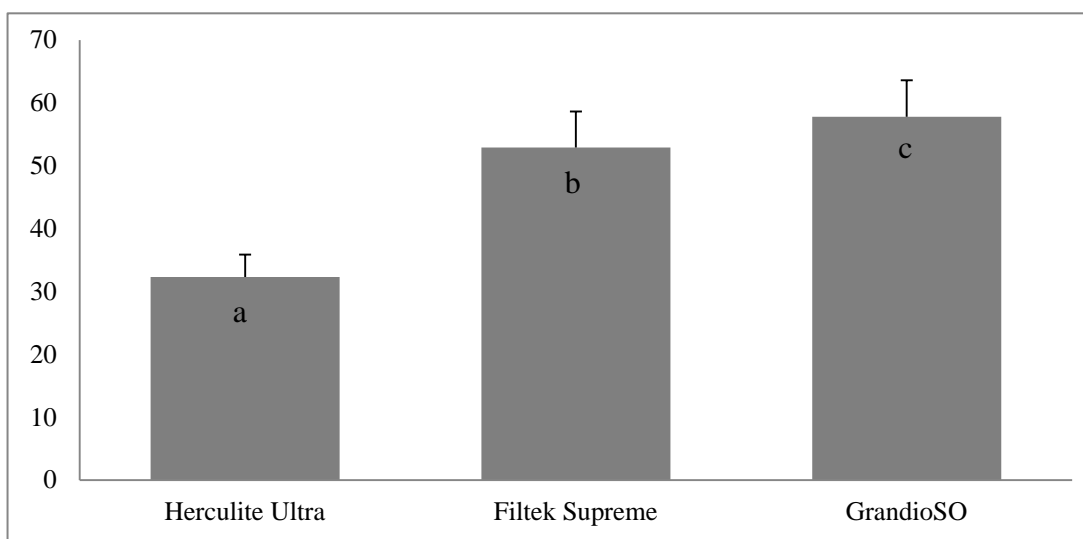
#### 4. Resultados

Os valores médios de microdureza no topo variaram entre 27,2 KH com o Herculite Ultra fotopolimerizado com o Ortholux LED a 0 mm de distância e 64,2 KH para o GrandioSO fotopolimerizado com Demi Ultra a 0 mm de distância (Tabela 4).

Compósito	Fotopolimerizador	Distância (mm)	KH-topo	Ratio
Herculite Ultra	Ortholux LED (800 mW/cm <sup>2</sup> )	0	27,2 (3,98)	0,68*
		2	32,7 (3,21)	0,62*
		4	32,1 (3,24)	0,64*
		6	29,4 (5,32)	0,47*
	Demi Ultra (1.100-1.300 mW/cm <sup>2</sup> )	0	33,5 (4,09)	0,84
		2	31,0 (2,33)	0,75
		4	34,9 (1,52)	0,72*
		6	30,6 (1,48)	0,61*
	Bluephase 20i (2.000 mW/cm <sup>2</sup> )	0	33,2 (2,18)	0,88
		2	35,8 (2,94)	0,86
		4	34,3 (0,96)	0,77
		6	32,8 (1,32)	0,69*
Filtek Supreme XTE	Ortholux LED (800 mW/cm <sup>2</sup> )	0	44,6 (2,33)	0,74*
		2	49,3 (2,36)	0,75*
		4	49,4 (2,35)	0,72*
		6	44,4 (4,64)	0,69*
	Demi Ultra (1.100-1.300 mW/cm <sup>2</sup> )	0	55,3 (1,46)	0,87
		2	53,3 (2,09)	0,84
		4	52,9 (2,98)	0,82
		6	53,2 (1,71)	0,75*
	Bluephase 20i (2.000 mW/cm <sup>2</sup> )	0	59 (3,98)	0,93
		2	60,6 (2,46)	0,88
		4	58,3 (2,48)	0,89
		6	54,8 (4,66)	0,84
GrandioSO	Ortholux LED (800 mW/cm <sup>2</sup> )	0	56,6 (5,56)	0,96
		2	62,6 (1,98)	0,87
		4	49,7 (6,46)	0,87
		6	55,8 (3,31)	0,78
	Demi ultra (1.100-1.300 mW/cm <sup>2</sup> )	0	64,2 (2,07)	1,02
		2	53 (1,55)	0,82
		4	54,4 (7)	0,74
		6	61,2 (3,7)	0,80
	Bluephase 20i (2.000 mW/cm <sup>2</sup> )	0	60,2 (6,04)	0,96
		2	60,7 (2,96)	0,92
		4	59,1 (3,2)	0,89
		6	56,4 (5,65)	0,82

**Tabela 4:** Estatística descritiva dos valores médios de microdureza Knoop no topo e *ratio* de microdureza, para cada grupo experimental (n=5). \* Valores de *ratio* de microdureza estatisticamente ( $p < 0,05$ ) inferiores a 0,80 e portanto considerados insuficientes para uma polimerização clinicamente aceitável.

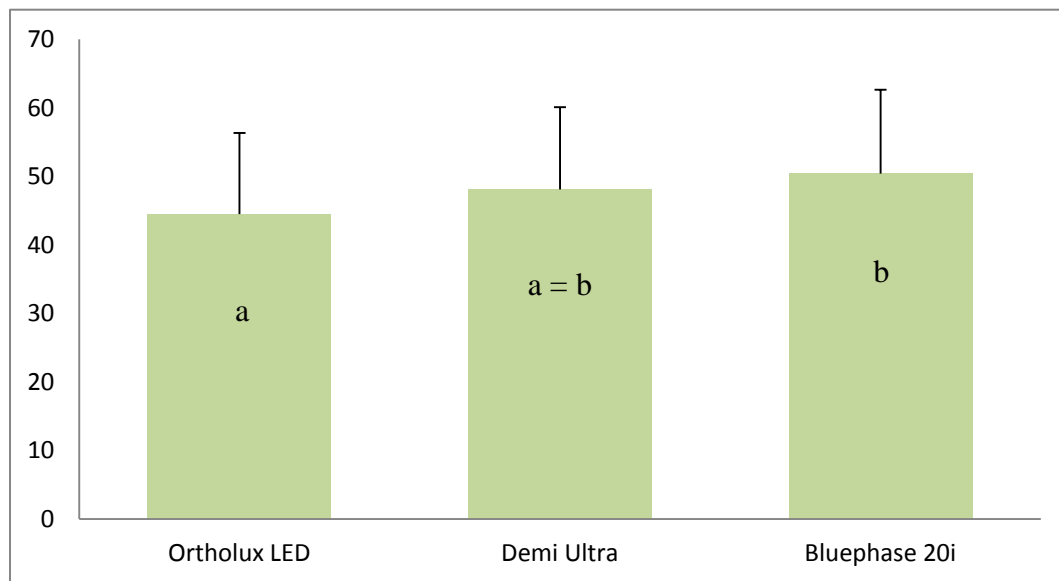
O teste Kruskal-Wallis revelou que o tipo de resina composta influencia de forma estatisticamente significativa ( $p<0,001$ ) os valores de microdureza Knoop no topo dos espécimes, independentemente da intensidade da radiação e da distância dos espécimes à fonte luminosa (figura 10). As comparações múltiplas segundo Mann-Whitney com correção de Bonferroni demonstraram que todos os compósitos são diferentes uns dos outros ( $p<0,05$ ).



**Figura 10:** Influência do tipo de resina composta na microdureza Knoop no topo dos espécimes. Barras com letras iguais não são estatisticamente diferentes.

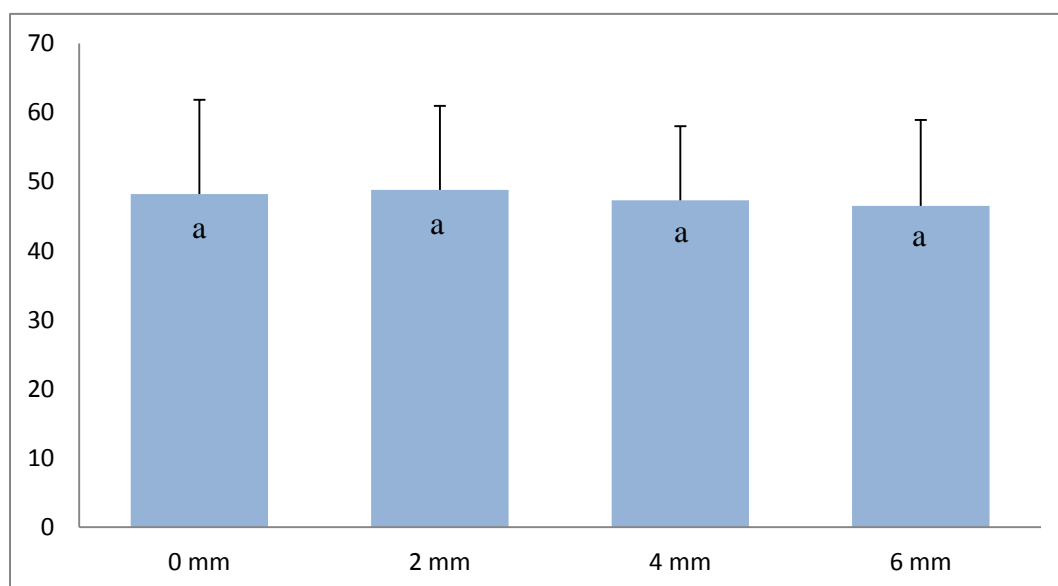
O mesmo se verifica quanto à influência da intensidade de radiação luminosa. O teste Kruskal-Wallis mostrou que independentemente do tipo de resina composta usada e da distância à fonte luminosa, a intensidade de radiação influencia de forma estatisticamente significativa ( $p<0,004$ ) os valores de microdureza Knoop no topo dos espécimes (figura 11). Comparações múltiplas segundo o método de Mann-Whitney, com correção de Bonferroni demonstraram só existir diferenças estatisticamente significativas na microdureza Knoop no topo dos espécimes quando utilizadas intensidades de radiação entre  $800 \text{ mW/cm}^2$  (Ortholux LED Curing Light) e  $2000 \text{ mW/cm}^2$  (Bluephase 20i) ( $p=0,002$ ). Nas outras comparações não se verificaram ( $p\geq 0,05$ ).





**Figura 11:** Influência da intensidade de radiação luminosa na microdureza Knoop no topo dos espécimes. Barras com letras iguais não são estatisticamente diferentes.

Em relação à influência da distância à fonte luminosa, independentemente do tipo de resina composta usada e da intensidade de radiação, o teste Kruskal-Wallis mostrou não existirem diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,683$ ) nos valores de microdureza Knoop no topo dos espécimes (figura 12).



**Figura 12:** Influência da distância à fonte luminosa na microdureza Knoop no topo dos espécimes. Barras com letras iguais não são estatisticamente diferentes.

A capacidade de polimerização na profundidade de 2 mm, ou seja, na base dos espécimes, foi considerada adequada quando foram conseguidos valores de *ratio* de microdureza superiores ou iguais a 0,80.

Um *ratio* de microdureza igual ou superior a 0,80 foi conseguido no grupo da resina composta GrandioSO para todas as intensidades independentemente da distância à fonte luminosa.

No grupo do compósito Herculite Ultra foi conseguido um *ratio* igual ou superior a 0,80 quando utilizado o fotopolimerizador Demi Ultra, aos 0 mm e 2 mm de distância, e com o Bluephase 20i, aos 0 mm, 2 mm e 4 mm. Relativamente ao grupo da resina composta Filtek Supreme XTE foi conseguida uma boa polimerização da resina composta na base, para todas as distâncias à fonte de luz, utilizando o fotopolimerizador Bluephase 20i. Quando utilizado o Demi Ultra foi obtida uma boa polimerização na base aos 0 mm, 2 mm e 4 mm de distância.

Um *ratio* inferior a 0,80 foi obtido quando se utilizou o fotopolimerizador Ortholux LED tanto no grupo da resina Herculite Ultra como no grupo da resina composta Filtek Supreme XTE. Observa-se, portanto, que foi no grupo do compósito GrandioSO onde se conseguiu, para todos os grupos de espécimes, uma melhor polimerização da resina composta na base, quer utilizando intensidades de radiação mais altas 2000 mW/cm<sup>2</sup> (Bluephase 20i) ou mais reduzidas 800 mW/cm<sup>2</sup> (Ortholux LED), independentemente do fotopolimerizador estar em contacto directo com a superfície do espécime ou se encontrar distante do topo da superfície da resina composta (6 mm).

## 5. Discussão

Neste estudo foi avaliada a influência da distância da fonte de radiação luminosa à superfície da resina composta e a influência de diferentes intensidades de radiação na capacidade de fotopolimerização de três resinas compostas.

Uma correta polimerização da resina composta é crucial para que se obtenham propriedades físicas, mecânicas e biológicas ideais (Ferracane & Greener, 1986; Emami et al., 2003; Aguiar *et al.*, 2005; Rueggeberg & Caughman, 1994; Nomoto et al., 2006; Schneider et al., 2006) e por conseguinte, uma boa performance clínica da restauração (Aguiar *et al.*, 2005; Ferracane, 2013).

O sucesso da reação de polimerização depende da espessura do material restaurador, do comprimento de onda e intensidade da fonte de radiação e do tempo de irradiação da resina composta (Sigusch *et al.*, 2007). Uma incorreta polimerização resultará em diversos problemas: redução da dureza, aumento do desgaste, diminuição da resistência mecânica do material restaurador, aumento da degradação marginal e solubilidade da restauração (Hasler *et al.*, 2006; Camargo *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2009), levando a longo prazo ao aparecimento de cárie secundária. O aumento da citotoxicidade e a ocorrência de respostas pulpares negativas pode também resultar de uma polimerização inadequada do material, causadas pela toxicidade do monômero residual não polimerizado (Price *et al.*, 2004; Aguiar *et al.*, 2005; Hasler *et al.*, 2006; Camargo *et al.*, 2009; Ergun *et al.*, 2011).

A comparação do grau de conversão de diferentes resinas compostas não deverá ser efectuada através da análise dos valores absolutos de microdureza, uma vez que o grau de conversão é influenciado por fatores relacionados com a própria resina, tais como a composição da matriz, a cor, percentagem e tamanho das partículas de carga (Ferracane 1985; Bouschlicher *et al.*, 2004). Segundo Ferracane (1985) os valores absolutos de microdureza podem ser utilizados para se estudar uma resina composta específica. No caso de se pretender comparar diferentes resinas deverá recorrer-se ao *ratio* de microdureza (Bouschlicher *et al.*, 2004).

No presente estudo foram comparadas três resinas compostas nanohíbridas com a mesma cor (A<sub>2</sub>), mas com algumas diferenças na sua composição. Para cada

compósito, pretendeu-se estudar a sua formulação com maior aplicação clínica, pelo que a escolha recaiu na opacidade *boby* para o Filtek Supreme XTE e GaudioSO. Como o Herculite Ultra não possuía esta opacidade, foi utilizada a opacidade *enamel* que segundo o fabricante teria uma utilização mais polivalente.

À semelhança de outros estudos (Bouschlicher *et al.*, 2004; Aguiar *et al.*, 2005; Hubbezoğlu *et al.*, 2007; Thomé *et al.*, 2007; Baggio *et al.*, 2008 Mobarak *et al.*, 2009; Ergun *et al.*, 2011) os espécimes utilizados foram fabricados com 2 mm de espessura, de modo a reproduzir os procedimentos utilizados na clínica.

Na prática clínica existem fatores como a estrutura dentária remanescente que promovem a reflexão da luz do fotopolimerizador e que podem influenciar a capacidade de ativar correctamente a reação de polimerização das resinas compostas (de Jong *et al.*, 2007). Como tal, no presente estudo foi utilizado um dente natural como material refletor da radiação luminosa do fotopolimerizador, pois parece ser a maneira mais correta de reproduzir a realidade clínica.

Para a fabricação dos espécimes foi utilizada uma matriz de metal. Os espaçadores, também estes em metal, colocados sobre a superfície da resina composta, serviram para aumentar a distância (2, 4 e 6 mm) entre a resina composta e o fotopolimerizador. Prati *et al.*, (1999) conclui que o uso de matrizes em metal permite uma maior transmissão de radiação luminosa até à superfície da resina composta, comparativamente às situações em que a luz atravessa apenas ar.

Antes da realização dos testes de microdureza, os espécimes foram armazenados no escuro, em meio seco e à temperatura ambiente, durante 1 hora, para garantir a obtenção do grau de conversão máximo. Isto porque a reação de polimerização da resina composta não se limita ao período de tempo em que esta é sujeita à exposição luminosa. (Mobarak *et al.*, 2009).

Os tempos de polimerização utilizados no estudo, foram os recomendados pelo fabricante, há exceção do tempo de polimerização da resina composta Herculite Ultra quando utilizado o fotopolimerizador Demi Ultra. O fabricante recomendava um tempo de polimerização de 5 segundos tendo sido alterado para 10 segundos pois, num estudo piloto, mesmo aos 0 mm de distância entre radiação luminosa e superfície da resina composta os valores de *ratio* de microdureza obtidos foram muito reduzidos.

A análise dos resultados demonstrou que não foram encontradas diferenças nos valores de microdureza Knoop no topo dos espécimes, quando avaliada a influência da distância à fonte luminosa, independentemente do tipo de resina composta e intensidade de radiação usadas. Estes resultados vão de encontro ao estudo de Pilo *et al.* (1999), de que a dureza da superfície dos espécimes mais próxima da fonte de luz está menos dependente da distância do fotopolimerizador, da intensidade de luz e tempo de irradiação, quando comparada com a superfície do espécime mais afastada.

Quando a luz de polimerização é aplicada sobre o material, uma grande quantidade de luz é recebida pela superfície da resina que está mais próxima da fonte luminosa, o que faz com que o tempo de exposição necessário para se conseguir uma superfície bem polimerizada seja reduzido. Contudo, a luz perde a intensidade à medida que penetra na espessura da resina, sendo necessários tempos de exposição mais longos, de modo a ser conseguida uma boa polimerização em toda a espessura do incremento (Rueggeberg *et al.*, 2009).

Assim a primeira hipótese nula não pode ser rejeitada, uma vez que não foi encontrada influência da distância da fonte de radiação luminosa sobre microdureza das resinas compostas estudadas.

Relativamente à influência da intensidade de radiação luminosa, os resultados permitiram concluir que a intensidade de radiação influenciou os valores de microdureza Knoop no topo dos espécimes. Contudo, só existiram diferenças entre o Ortholux LED (800 mW/cm<sup>2</sup>) e o Bluephase 20i (2000 mW/cm<sup>2</sup>). A quantidade de energia recebida na superfície do compósito mais próximo da fonte de luz depende da intensidade da luz emitida pelo fotopolimerizador (Anusavice & Brantley, 2003). Desta forma, uma vez que o fotopolimerizador Bluephase 20i imite uma intensidade de radiação superior ao Ortholux LED é compreensível que os espécimes fotopolimerizados por este aparelho apresentem maior microdureza Knoop no topo.

O tipo de resina composta demonstrou ter igualmente influência sobre os valores de microdureza Knoop no topo dos espécimes, independentemente da intensidade da radiação e da distância dos espécimes à fonte luminosa. À semelhança de estudos anteriores, diferentes compósitos apresentam diferentes valores de microdureza (Hubbezoğlu *et al.*, 2007; Mobarak *et al.*, 2009). Para além da microdureza dos compósitos ser influenciada pelo seu grau de conversão, esta é também influenciada

pela cor, percentagem e tamanho das partículas de carga do compósito (Ferracane, 1985). Resinas compostas com maior percentagem de carga apresentam maior microdureza (Anusavice & Brantley, 2003), o que pode justificar os elevados valores de microdureza Knoop obtidos no topo dos espécimes para o compósito GrandioOSo. Por outro lado, existem autores que afirmam que um menor tamanho das partículas de carga resultará em valores de microdureza mais elevados (Hubbezoğlu *et al.*, 2007). No entanto, as resinas compostas testadas apresentam partículas com tamanho semelhante, desta forma este factor não deverá ser responsável pelas diferenças encontradas. Finalmente, uma vez que a cor ( $A_2$ ) dos compósitos testados foi a mesma este factor poderá ser também excluído.

Desta forma, tanto a segunda hipótese como a terceira hipótese nula foram rejeitadas, uma vez que a microdureza das resinas compostas foi influenciada pela intensidade da radiação luminosa e pelo tipo de resina composta.

Uma profundidade de polimerização é considerada clinicamente aceitável quando um *ratio* igual ou superior a 0,80 é conseguido (Bouschlicher *et al.*, 2004; Roberts *et al.*, 2004; Moore, 2008; Borges *et al.*, 2009).

A análise dos resultados demonstra que para a resina composta Herculite Ultra apenas se obteve uma polimerização adequada na base quando fotopolimerizada com o Demi Ultra, aos 0 mm e 2 mm de distância. Utilizando o Bluephase 20i a uma distância de 0 mm, 2 mm e 4 mm foi igualmente conseguida uma polimerização adequada na base. Para as restantes distâncias, os resultados demonstram ter ocorrido uma incorrecta polimerização na base do espécime. Com o compósito Filtek Supreme XTE foram obtidos resultados semelhantes aos conseguidos para o Herculite Ultra. Estes resultados vão de encontro ao estudo de Aguiar *et al.* (2005) onde concluiu que o aumento da distância entre a resina composta e a fonte de radiação conduziu a uma perda de capacidade de polimerização. Prati *et al.* (1999) demonstrou que a distância entre a fonte de luz e a resina composta pode afetar a intensidade luminosa, e que 1 mm de ar reduz a intensidade luminosa em aproximadamente 10%. Harrington & Wilson (1993) verificaram que a intensidade da fonte de luz que chega à superfície da resina composta diminui aproximadamente um terço, quando a fonte de luz é mantida a uma distância de 7 mm da superfície da resina composta. Segundo Meyer *et al.* (2002) e Hasler *et al.* (2006) as unidades de fotopolimerização LED apresentam uma diminuição significativa

na potência da fonte de luz quando a distância entre a resina composta e o fotopolimerizador é aumentada. Profundidades de polimerização mais elevadas foram conseguidas quando a distância da fonte de radiação à superfície da resina composta foi de 0 mm. Aumentos de distância de 3 mm e 6 mm provocam uma redução significativa na capacidade de polimerização na profundidade da resina composta. A dispersão da luz proveniente do fotopolimerizador pode ser o factor mais importante que justifique as alterações da capacidade de polimerização na profundidade (Lindberg *et al.*, 2002). Thomé *et al.* (2007) verificou também que o aumento da distância da fonte de luz teve uma influência negativa na polimerização das resinas compostas, tendo sido conseguidos *ratios* de microdureza superiores aquando do contacto direto da ponta do fotopolimerizador com a superfície da resina composta.

Desta forma, clinicamente recomenda-se que a ponta do fotopolimerizador esteja em contacto direto com a superfície da restauração (Meyer *et al.* 2002; Thomé *et al.*, 2007; Cekic-Nagas *et al.*, 2010; Ergun *et al.*, 2011).

A resina composta GrandioSO foi a que atingiu melhores resultados. Foi conseguido um *ratio* de microdureza igual ou superior a 0,80 para todas as intensidades de radiação independentemente da distância à fonte luminosa.

As diferenças encontradas na capacidade de polimerização desta resina em relação às resinas Herculite Ultra e Filtek Supreme XTE poderão estar relacionadas com o facto de a sua composição ser diferente (Hubbezoğlu *et al.*, 2007).

É sabido que a capacidade de polimerização das resinas compostas é influenciada pela sua composição, nomeadamente, pela cor, tamanho e percentagem de partículas de carga (Ferracane, 1985; Anusavice KJ, 2003; Baggio *et al.*, 2008). As partículas de carga constituintes da matriz do compósito GrandioSO, cerâmica vítrea e sílica, poderão permitir uma maior transmissão de luz comparativamente às partículas de carga que constituem a matriz do Herculite Ultra e Filtek Supreme XTE, o que pode servir de justificação para os resultados obtidos para este compósito. Relativamente à cor das resinas compostas utilizadas, esta foi igual para todos os compósitos, no entanto, a resina Herculite Ultra utilizada foi A<sub>2</sub> *enamel* enquanto as resinas GrandioSO e Filtek Supreme A<sub>2</sub> *body*. Dado que a resina Herculite Ultra é mais translúcida deveria ter apresentado maior capacidade de polimerização, o que não aconteceu no presente estudo. É contudo importante salientar que a informação disponibilizada pelos

respetivos fabricantes é escassa. Desta forma, talvez as diferenças obtidas se possam ter devido à possível diferença na composição da matriz orgânica dos compósitos.

No que diz respeito à influência da intensidade de radiação luminosa nos valores do *ratio* de microdureza, os resultados indicam que a aplicação de radiação com maior intensidade permite alcançar uma maior profundidade de polimerização. De Wald & Ferracane (1987) reforçam estes resultados, defendendo que a profundidade de polimerização para além de ser influenciada pelas características da resina composta está também dependente da intensidade da fonte de luz. A profundidade de polimerização das resinas compostas é proporcional à quantidade de energia a que as resinas são expostas (Rueggeberg *et al.*, 1994), ou seja, quanto maior a intensidade de radiação luminosa maior grau de polimerização conseguido (Anusavice & Brantley, 2003). Tal pode justificar os resultados atingidos. Quando utilizado o fotopolimerizador Bluephase 20i tanto o compósito GrandioSO como o Filtek Supreme XTE, independentemente da distância de irradiação, atingiram um *ratio* igual ou superior a 0,80. Relativamente ao compósito Herculite Ultra apenas aos 6 mm de distância este valor não foi conseguido.

Quando comparados os fotopolimerizadores Ortholux LED e Demi Ultra seria expectável que a capacidade de polimerização em profundidade do Demi Ultra fosse substancialmente maior. Quando a intensidade de radiação emitida pelos fotopolimerizadores foi verificada com o radiómetro Bluephase® meter, o valor que na realidade foi registado para o Demi Ultra foi de 800 mW/cm<sup>2</sup>. O fabricante indica que este fotopolimerizador emite uma radiação de 1.100 mW/cm<sup>2</sup> com picos de 1.300 mW/cm<sup>2</sup>. Tal achado pode justificar a semelhança de resultados obtidos, justificando o facto de não haver diferenças significativas na capacidade de polimerização em profundidade, entre os fotopolimerizadores. Uma vez que a acção do Demi Ultra é pulsátil tal característica pode ter dificultado a medição executada com o radiómetro Bluephase® meter, justificando o valor de intensidade obtido. Desta forma, talvez os valores de radiação emitidos por este fotopolimerizador sejam maiores que os medidos pelo radiómetro.



## **6. Conclusões**

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que:

1. A microdureza das resinas compostas não é influenciada pela distância da fonte de radiação luminosa.
2. A microdureza das resinas compostas é influenciada pela intensidade da radiação luminosa.
3. A microdureza das resinas compostas é influenciada pelo tipo de resina composta. O GrandioSO apresentou valores mais elevados que os restantes compósitos.
4. O *ratio* de microdureza é inferior a 0,80 quando utilizada a resina composta Herculite Ultra, fotopolimerizada com o Demi Ultra a 0 mm e 2 mm de distância. Aos 6 mm de distância utilizando o fotopolimerizador Bluephase 20i obtém-se igualmente um *ratio* inferior a 0,80. Relativamente ao compósito Filtek Supreme XTE quando fotopolimerizado com o Demi Ultra aos 6 mm o *ratio* obtido é também inferior a 0,80. Para o fotopolimerizador Ortholux LED apenas é conseguido um *ratio* superior a 0,80, independentemente da distância, com o compósito GrandioSO.

## **Referências Bibliográficas**

1. Aguiar FH, Lazzari CR, Lima DA, Ambrosano GM, Lovadino JR. Effect of light curing tip distance and resin shade on microhardness of a hybrid resin composite. *Braz Oral Res.* 2005; 19(4):302-6.
2. Aguiar FH, Andrade KR, Leite Lima DA, Ambrosano GM, Lovadino JR. Influence of light curing and sample thickness on microhardness of a composite resin. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2009; 1:21-5.
3. Anusavice KJ, Brantley WA. Physical Properties of Dental Materials. In: Anusavice KJ. *Phillips' Science of Dental Materials*. 11<sup>th</sup> ed. St Louis: Elsevier Science; 2003.
4. Aravamudhan K, Rakowski D, Fan PL. Variation of depth of cure and intensity with distance using LED curing lights. *Dent Mater.* 2006; 22(11):988-94.
5. Asmussen E, Peutzfeldt A. Polymerization contraction of resin composite vs. energy and power density of light-cure. *Eur J Oral Sci.* 2005; 113(5):417-21.
6. Baggio R, Gralha SR, Gomes JC, OMM Gomes. Influência da distância da ponta do fotopolimerizador nas propriedades da resina composta. *UEPG Ci. Biol. Saúde.* 2008; 14(2): 31-37.
7. Bennett AW, Watts DC. Performance of two blue light-emitting diode dental light curing units with distance and irradiation-time. *Dent Mater.* 2004;20(1):72-9.
8. Borges A, Chasqueira F, Portugal J. Grau de Conversão de Resinas Compostas. Influência do Método de Fotopolimerização. *Ver. Port. Estomatol. Cir. Maxilofac.* 2009; 50:197-203.

9. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent*. 2004; 29(6): 698-704.
10. Camargo EJ, Moresch E, Baseggio W, Cury JÁ, Pascotto RC. Composite depth of cure using four polymerization techniques. *J. Appl Oral Sci*. 2009; 17 (5).
11. Ceballos L1, Fuentes MV, Tafalla H, Martínez A, Flores J, Rodríguez J. Curing effectiveness of resin composites at different exposure times using LED and halogen units. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2009 Jan 1;14(1):E51-6.
12. Cekic-Nagas I, Egilmez F, Ergun G. The effect of irradiation distance on microhardness of resin composites cured with different light curing units. *Eur J Dent*. 2010; 4(4):440-6.
13. Corciolani G, Erickson RL, Davidson CL, Ferrari M. The influence of tip geometry and distance on light-curing efficacy. *Erickson RL* 2008; 33(3):325-31.
14. De Wald JP, Ferracane JL. A Comparison of Four Modes of Evaluation Depth of Cure of Light-activates Composites. *J Dent Res*. 1987; 66(3): 727-730.
15. Emami N, Söderholm KJ, Berglund LA. Effect of light power density variations on bulk curing properties of dental composites. *J Dent*. 2003 Mar;31(3):189-96.
16. Ergun G, Egilmez F, Cekic-Nagas I. The cytotoxicity of resin composites cured with three light curing units at different curing distances. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2011; 16(2):252-9.
17. Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental material resins. *Dent Mater*. 1985; 1(1): 11-14.

18. Halvorson RH, , Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. *Dent Mater*. 2002; 18(6):463-9.
- 19.
20. Harrington E, Wilson HJ. Depth of cure of radiationactivated materials—effect of mould material and cavity size. *J Dent*. 1993; 21:305–311.
21. Hasler C, Zimmerli B, Lussi A. Curing capability of halogen and LED light curing units in deep class II cavities in extracted human molars. *Oper Dent*. 2006; 31(3):354-63.
22. Hubbezoğlu I, Bolayir G, Doğan OM, Doğan A, Ozer A, Bek B. Microhardness evaluation of resin composites polymerized by three different light sources. *Dent Mater J*. 2007; 26(6):845-53.
23. ISO Standard ISO. 4049 Polymer based filling, restorative and luting materials International Organization for Standardization. 3rd edition: 1-27; 2000.
24. Meyer G R, Ernst C-P, Willershausen B. Decrease in power output of new light-emitting diode (LED) curing device with increasing distance to filling surface. *J Adhes Dent*. 2002; 4: 197–204.
25. Mobarak E, Elsayad I, Ibrahim M, El-Badrawy W. Effect of LED light-curing on the relative hardness of tooth-colored restorative materials. *Oper Dent*. 2009; 34(1):65-71.
26. Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu TM, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and microhardness of types of materials and shades. *Oper Dent*. 2008; 33(4):408-12.
27. Li J, Fok AS, Satterthwaite J, Watts DC. Measurement of the full-field polymerization shrinkage and depth of cure of dental composites using digital image correlation. *Dent Mater*. 2009; 25(5):582-8.

28. Lindberg A, Peutzfeldt A, van Dijken JW. Effect of power density of curing unit, exposure duration, and light guide distance on composite depth of cure. *Clin Oral Investig*. 2005; 9(2):71-6.
29. Palin WM, Senyilmaz DP, Marquis PM, Shortall AC. Cure width potential for MOD resin composite molar restorations. *Dent Mater*. 2008 Aug;24(8):1083-94.
30. Pilo R, Oelgiesser D, Cardash HS. A survey of output intensity and potential for depth of cure among light-curing units in clinical use. *J. Dent*. 1999; 27(3):235-41.
31. Portugal J. Efeito da Condições de Fotopolimerização sobre o Desempenho Laboratorial e Clínico de um Sistema Adesivo Ortodôntico. Lisboa: Faculdade de Medicina Dentária da Universidade de Lisboa; 2008.
32. Poskus LT, Placido E, Cardoso PE. Influence of placement techniques on Vickers and Knoop hardness of class II composite resin restorations *Dent Mater*. 2004; 20(8): 726-32.
33. Prati C, Chersoni S, Montebugnoli, Montanari G. Effect of air, dentin and resin-based composite thickness on light intensity reduction. *Am J Dent*. 1999;12(5): 231-4.
34. Price RB, Felix CA, Andreou P. Effects of resin composite composition and irradiation distance on the performance of curing lights. *Biomaterials*. 2004; 25(18):4465-77.
35. Price RB, Labrie D, Whalen JM, Felix CM. Effect of distance on irradiance and beam homogeneity from 4 light-emitting diode curing units. *J Can Dent Assoc*. 2011; 77: b9.

36. Roberts HW, Leonard DL, Vandewalle KS, Cohen E, Charlton DG. The effect of a translucent post on resin composite depth of cure. *Dental Materials*. 2004; 20: 617–622
37. Rode KM, Kawano Y, Turbino ML. Evaluation of curing light distance on resin composite microhardness and polymerization. *Oper. Dent.* 2006; 32(6):571-8.
38. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent.* 1994; 19(1):26-32.
39. Rueggeberg FA, Cole MA, Looney SW, Vickers A, Swift EJ. Comparison of manufacturer-recommended exposure durations with those determined using biaxial flexure strength and scraped composite thickness among a variety of light-curing units. *J Esthet Restor Dent.* 2009; 21(1):43-61.
40. Schneider LF, Consani S, Ogliari F, Correr AB, Sobrinho LC, Sinhoreti MA. Effect of time and polymerization cycle on the degree of conversion of a resin composite. *Oper Dent.* 2006; 31(4):489-95.
41. Sigusch BW, Völpel A, Braun I, Uhl A, Jandt KD. Influence of different light curing units on the cytotoxicity of various dental composites. *Dent. Mater.* 2007; 23(11):1342-8.
42. Thomé T, Steagall W Jr, Tachibana A, Braga SR, Turbino ML. Influence of the distance of the curing light source and composite shade on hardness of two composites. *J Appl Oral Sci.* 2007; 15(6):486-91.